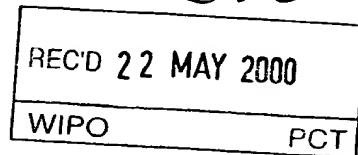


BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



DE 00 / 699 Bescheinigung 09/937766

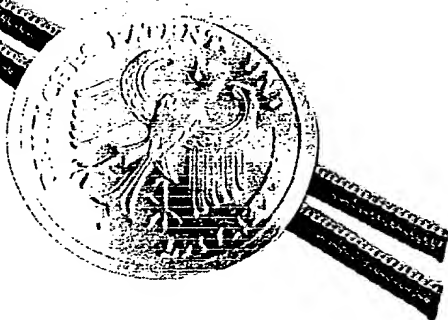
Die Siemens Aktiengesellschaft in München/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren, Verwendung des Verfahrens und Empfangsanordnung zum Empfang von mehreren frequenzdiskreten Subträgern aufweisenden Multiträgersignalen"

am 31. März 1999 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole H 04 B und H 04 J der Internationalen Patentklassifikation erhalten.



München, den 10. Mai 2000

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Weihmayr

Aktenzeichen: 199 14 797.3

This Page Blank (uspto)



Beschreibung

Verfahren, Verwendung des Verfahrens und Empfangsanordnung
zum Empfang von mehrere frequenzdiskrete Subträger aufweisen-
5 den Multiträgersignalen.

Bei drahtlosen, auf Funkkanälen basierenden Kommunikations-
netzen, insbesondere bei Punkt-zu-Multipunkt Funk-Zubringer-
netzen - auch als "Radio In The Local Loop" bzw. "RLL" be-
10 zeichnet - sind mehrere Netzabschlußeinheiten jeweils über
einen oder mehrere Funkkanäle an eine Basisstation - auch als
"Radio Base Station" bzw. "RBS" bezeichnet - angeschlossen.
Im telcom report Nr. 18 (1995), Heft 1 "Drahtlos zum Freizeit-
15 gernetz für die drahtlose Sprach- und Datenkommunikation be-
schrieben. Das beschriebene Kommunikationssystem stellt einen
RLL-Teilnehmeranschluß in Kombination mit moderner Breitband-
Infrastruktur - z.B. "Fiber to the curb" - dar, welches in
kurzer Zeit und ohne größeren Aufwand anstelle der Verlegung
20 von drahtgebundenen Anschlußleitungen realisierbar ist. Die
den einzelnen Teilnehmern zugeordneten Netzabschlußeinheiten
RNT sind über das Übertragungsmedium "Funkkanal" und die Ba-
sisstation RBS an ein übergeordnetes Kommunikationsnetz, bei-
spielsweise an das ISDN-orientierte Festnetz, angeschlossen.

25 Durch die zunehmende Verbreitung von Multimedia-Anwendungen
müssen hochbitratige Datenströme schnell und sicher über Kom-
munikationsnetze, insbesondere über drahtlose Kommunikations-
netze bzw. über Mobilfunksysteme übertragen werden, wobei
30 hohe Anforderungen an die Funkübertragungssysteme, welche auf
einem störanfälligen und hinsichtlich der Übertragungs-
qualität schwer einzuschätzenden Übertragungsmedium "Funkka-
nal" basieren, gestellt werden. Ein Übertragungsverfahren zur
Übertragung von breitbandigen Datenströmen - z.B. von Video-
35 datenströmen - stellt beispielsweise das auf einem sogenann-
ten Multiträgerverfahren basierende OFDM-Übertragungsverfah-
ren - auch als Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDM bezeichnet - dar. Bei der OFDM-Übertragungstechnik werden die zu übermittelnden Informationen bzw. wird der zu übermittelnde Datenstrom innerhalb des Funkkanals auf mehrere Subkanäle bzw. Subträger aufgeteilt bzw. parallelisiert, wobei die zu übermittelnden Informationen jeweils mit einer relativ geringen Datenrate, jedoch in additiv überlagerter Form parallel übertragen werden. Die OFDM-Übertragungstechnik wird beispielsweise beim Digitalen Terrestrischen Rundfunk - auch als Digital Audio Broadcasting DAB bezeichnet - und für das Digitale Terrestrische Fernsehen - auch als Digital Terrestrial Video Broadcasting DTVB bezeichnet - eingesetzt. Insbesondere soll die OFDM-Übertragungstechnik in zukünftigen drahtlosen lokalen Kommunikationsnetzen - auch als Wireless LAN bzw. WLAN bezeichnet - und in zukünftigen Mobilfunk-Kommunikationsnetzen - z.B. UMTS - eingesetzt werden. Die OFDM-Übertragungstechnik findet auch bei zukünftigen Zugriffsverfahren wie beispielsweise MC-SSMA - Multi-Carrier Spread Spectrum Multiple Access oder MC-CDMA - Multi-Carrier CDMA - Verwendung.

In der Druckschrift "Mitteilungen der TU-Braunschweig, Mobilfunktechnik für Multimedia-Anwendungen", Professor H. Rohling, Jahrgang XXXI, Heft 1-1996 ist in Abbildung 6, Seite 46 das OFDM-Übertragungsverfahren näher beschrieben. Hierbei wird ausgehend von einem seriellen Datenstrom im Sender für die Modulation der beispielsweise n Subträger eine Seriell/Parallelwandlung durchgeführt, wobei für den zeitlich i -ten OFDM-Block mit der Blocklänge T' und dem j -ten Subträger jeweils ein binäres Codewort mit der Wortbreite k - die Wortbreite k ist vom eingesetzten Modulationsverfahren abhängig - gebildet wird. Aus den gebildeten Codewörtern werden mit Hilfe eines senderspezifischen Modulationsverfahrens die entsprechenden komplexen Modulationssymbole - im folgenden auch als Sendesymbole bezeichnet - gebildet, wobei zu jedem Zeitpunkt i jedem der k Subträger ein Sendesymbol zugeordnet ist. Der Abstand der einzelnen Subträger ist durch $\Delta f = 1/T'$ festgelegt, wodurch die Orthogonalität der einzelnen Subträgersi-

gnale im Nutzintervall $[0, T']$ garantiert wird. Durch Multiplikation der Schwingungen der einzelnen Subträger mit den entsprechenden Modulationssymbolen bzw. Sendesymbolen und der anschließenden Addition der gebildeten Modulationsprodukte wird das entsprechende zeitdiskrete Sendesignal für den zeitlich i -ten OFDM-Block erzeugt. Dieses Sendesignal wird in abgetasteter, d.h. zeitdiskreter Form durch eine Inverse, Diskrete Fourier-Transformation - IDFT - direkt aus den Modulationssymbolen bzw. Sendesymbolen der einzelnen betrachteten Subträger berechnet. Zur Minimierung von Intersymbol-Interferenzen wird jedem OFDM-Block im Zeitbereich ein Guard-Intervall T_G vorangestellt, was einer Verlängerung des zeitdiskreten OFDM-Signals im Intervall $[-T_G, 0]$ bewirkt - vergleiche "Mitteilungen der TU-Braunschweig, Mobilfunktechnik für Multimedia-Anwendungen", Abbildung 7. Das eingefügte Guard-Intervall T_G entspricht vorteilhaft der maximal auftretenden Laufzeitdifferenz zwischen den einzelnen bei der Funkübertragung entstehenden Ausbreitungspfaden. Durch das empfängerseitige Entfernen des hinzugefügten Guard-Intervalls T_G wird beispielsweise eine Störung des i -ten OFDM-Blocks durch das zeitlich benachbarte OFDM-Signal zum Zeitpunkt $i-1$ vermieden, so daß im Intervall $[0, T']$ das Sendesignal über sämtliche Umwegpfade empfangen wird und die Orthogonalität zwischen den Subträgern im vollen Maße im Empfänger erhalten bleibt. Bei einer großen Anzahl von Subträgern - beispielsweise $n = 256$ Subträger - und entsprechend langen Symbol Dauern $T = T' + T_G$ ist die Dauer T_G klein gegenüber T , so daß die Einfügung des Guard-Intervalls die Bandbreite effizient nicht wesentlich beeinträchtigt und ein nur geringer Overhead entsteht. Nach Abtastung des am Eingang des Empfängers empfangenen Sendesignals im Basisband - durch einen A/D-Wandler - und nach Extraktion des Nutzintervalls - d.h. nach Beseitigung des Guard-Intervalls T_G - wird mit Hilfe einer Diskreten Fourier-Transformation - DFT - das empfangene Sendesignal in den Frequenzbereich transformiert, d.h. es werden die empfangenen Modulationssymbole bzw. die empfangenen Empfangssymbole bestimmt. Aus den bestimmten Empfangssymbolen

werden mittels eines geeigneten Demodulationsverfahrens die entsprechenden Empfangs-Codewörter erzeugt und aus diesen wird durch Parallel/Seriell-Wandlung der empfangene, serielle Datenstrom gebildet. Durch die Vermeidung von Intersymbol-Interferenzen bei OFDM-Übertragungsverfahren wird der Rechenaufwand im jeweiligen Empfänger erheblich reduziert, wodurch die OFDM-Übertragungstechnik beispielsweise für die terrestrische Übertragung digitaler Fernsehsignale eingesetzt wird - beispielsweise zur Übertragung von breitbandigen Datenströmen mit einer Übertragungsrate von 34 MBit/s pro Funkkanal.

Für die Übermittlung des mit Hilfe des OFDM-Übertragungsverfahrens zu übermittelnden, seriellen Datenstromes werden absolute bzw. differentielle Modulationsverfahren sowie entsprechende kohärente bzw. inkohärente Demodulationsverfahren eingesetzt. Beispiele für ein absolutes Modulationsverfahren sind die 4-QAM oder 16-QAM - Quadratur Amplituden Modulation. Obwohl bei der Übermittlung des gebildeten Sendesignals über das Übertragungsmedium "Funkkanal" die Orthogonalität der Subträger durch den Einsatz des OFDM-Übertragungsverfahrens im vollen Umfang erhalten bleibt, werden durch die Übertragungseigenschaften des Funkkanals die übertragenen, frequenzdiskreten, bzw. frequenzselektiven Sendesymbole sowohl in der Phase als auch in der Amplitude verändert. Der Amplituden- und Phaseneinfluß des Funkkanals erfolgt subträger-spezifisch auf den einzelnen jeweils sehr schmalbandigen Subträgern; zudem überlagern Rauschsignale additiv das übertragene Nutzsignal. Bei Einsatz von kohärenten Demodulationsverfahren ist eine Kanalschätzung erforderlich, die je nach Qualitätsanforderungen auf einen erheblichen technischen und wirtschaftlichen Realisierungsaufwand beruhen und zudem die Leistungsfähigkeit des Übertragungssystems vermindern. Vorteilhaft werden differentielle Modulationsverfahren sowie entsprechende inkohärente Demodulationsverfahren eingesetzt, bei denen auf eine aufwendige Funkkanalschätzung verzichtet werden kann. Bei differentiellen Modulationsverfahren werden

die zu übermittelnden Informationen nicht durch Auswahl der Modulationssymbole bzw. der frequenzdiskreten Sendesymbole direkt übertragen, sondern durch Änderung der zeitlich benachbarten, frequenzdiskreten Sendesymbole auf dem selben Subträger. Beispiele für differentielle Modulationsverfahren sind die 64-stufige 64-DPSK - Differential Phase Shift Keying - sowie die 64-DAPSK - Differential Amplitude and Phase Shift Keying. Bei der 64-DAPSK werden sowohl die Amplitude als auch gleichzeitig die Phase differentiell moduliert.

Bei großen Laufzeitunterschieden zwischen den einzelnen Signalpfaden, d.h. bei starker Mehrwegeausbreitung, können unterschiedliche, Übertragungskanalbedingte Dämpfungen zwischen den einzelnen empfangenen Subträgern mit Dämpfungsunterschieden bis zu 20 dB und mehr auftreten. Die empfangenen, hohe Dämpfungswerte aufweisenden Subträger, bzw. die Subträger mit kleinen S/N-Werten - auch als Signalleistung-zu-Rauschleistung-Verhältnis bezeichnet - weisen eine sehr große Symbolfehlerrate auf, wodurch die Gesamt-Bitfehlerrate über alle Subträger erheblich steigt. Es ist bereits bekannt, bei mit Hilfe von kohärenten Modulationsverfahren modulierten Subträgern, die durch die frequenzselektiven Übertragungseigenschaften des Übertragungsmediums - auch als Übertragungsfunktion $H(f)$ bezeichnet - verursachten Dämpfungsverluste, empfangsseitig mit Hilfe der inversen Übertragungsfunktion - auch als $1/H(f)$ bezeichnet - zu korrigieren, wobei die frequenzselektiven Dämpfungsverluste beispielsweise durch Auswertung von übermittelten, jeweils bestimmten Subträgern zugeordneten Referenz-Pilottönen ermittelt werden.

Üblicherweise werden die an einem Empfänger eingehenden OFDM-Signale mit Hilfe eines in einer Hochfrequenzeinheit - auch als HF-Frontend bezeichnet - angeordneten lokalen Oszillators in Zwischenfrequenzband oder Basisband gemischt. Die jeweils auf der Sende- als auch auf der Empfangsseite angeordneten lokalen Oszillatoren weisen je nach Qualität und Güte unterschiedliche Frequenzschwankungen und unterschiedliches Pha-

senrauschen auf. Insbesondere OFDM-Signale sind sehr anfällig gegenüber den Frequenzschwankungen und dem Phasenrauschen, welche insbesondere von preisgünstigen LO-Oszillatoren erzeugt werden, da dadurch die Orthogonalität zwischen den im Frequenzbereich benachbart angeordneten Subträgern verloren geht. Das Phasenrauschen eines lokalen Oszillators verursacht Störungen im demodulierten Basisbandsignal wobei insbesondere sogenannte "Common Phase Error" - auch als CPE-Störungen bezeichnet - und "Inter Carrier Interference" - auch als ICI-Störungen bezeichnet - im Basisbandsignal erzeugt werden. Durch CPE-Störungen werden alle Subträger eines OFDM-Empfangssignals um eine konstante Phasendifferenz gedreht, wobei die Phasendifferenz mit minimalen Aufwand abschätzbar ist und das OFDM-Empfangssignal entsprechend korrigierbar ist. Dagegen werden durch ICI-Störungen gegenseitige Störungen zwischen den im Frequenzbereich benachbart angeordneten Subträgern verursacht, wobei der jeweilige Umfang dieser Störungen von der Art der übermittelten Informationen abhängig ist. ICI-Störungen entstehen bei der Faltung der einzelnen Subträger mit dem ein Phasenrauschen aufweisenden Trägersignal des lokalen Oszillators. Werden über jeden Subträger die gleichen Informationen übermittelt, wird jeder Subträger mit der selben ICI-Störung additiv überlagert. Im normalen Betrieb weist jeder Subträger unterschiedliche Amplitudenschwankungen auf, durch welche abhängig vom eingesetzten Modulationsverfahren und der übermittelten Daten unterschiedliche ICI-Störungen in den einzelnen Subträgern erzeugt werden. Das empfangene OFDM-Signal ist eine komplizierte additive Überlagerung sehr vieler Teilsignale wodurch eine direkte Bestimmung der ICI-Störung nur mit erhöhtem Aufwand möglich ist.

Es sind Oszillatoren mit geringem Phasenrauschen - auch als phasenreine Oszillatoren bezeichnet - erhältlich, welche entweder sehr teuer sind oder einen minimalen Ziehbereich aufweisen, und für welche somit aufwendige Zusatzschaltungen im Basisband erforderlich sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Übermittlung von Informationen mit Hilfe eines Multiträgerverfahrens kostengünstig auszugestalten und insbesondere eine effektive Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Übertragungsressourcen des Übertragungsmediums zu erreichen. Die Aufgabe wird ausgehend von einem Verfahren und einer Empfangsanordnung gemäß den Merkmalen der Oberbegriffe der Patentansprüche 1 und 15 durch deren kennzeichnende Merkmale gelöst.

10 Beim erfindungsgemäßen Verfahren zum Empfang eines mehrere frequenzdiskrete Subträger aufweisenden Multiträgersignals sind die zu übermittelnden Informationen mit Hilfe eines Multiträgerverfahrens in frequenzdiskrete Modulationssymbole umgewandelt und in das Multiträgersignal eingefügt. Die einzelnen frequenzdiskreten Subträger des über ein Übertragungsmedium übermittelten Multiträgersignals weisen jeweils durch im Frequenzbereich benachbart angeordnete Subträger verursachte subträgerspezifische Störungen auf. Der wesentliche Aspekt des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die Subträger des empfangenen Multiträgersignals zusätzlich gezielt gestört werden und daß aus den zusätzlich gezielt gestörten Subträgern eine die subträgerspezifischen Störungen repräsentierende Korrekturinformation abgeleitet wird. Anschließend werden die empfangenen, frequenzdiskreten Subträger entsprechend der ermittelten Korrekturinformation korrigiert.

Der wesentliche Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß durch die erfindungsgemäße Kompensation der im empfangenen Multiträgersignal enthaltenen subträgerspezifischen Störungen bzw. ICI-Störungen insbesondere kostengünstige, lokale Oszillatoren in den jeweiligen Sende- und Empfangseinrichtungen einsetzbar sind. Derartige Oszillatoren können beispielsweise auf GaAs-Basis aufgebaut sein und sind mit geringstem wirtschaftlichen und technischen Aufwand in einem MMIC realisierbar. Des Weiteren ist zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens kein zusätzliches Einfügen von Redundanz-Informationen auf der Sendeseite für die Schät-

zung der ICI-Störungen bzw. zur Bestimmung der Korrekturinformationen erforderlich so daß eine effektive Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Übertragungsressourcen des Übertragungsmediums erreicht wird.

5
Vorteilhaft werden aus dem empfangenen Multiträgersignal die frequenzdiskreten Subträger repräsentierenden Empfangssymbole abgeleitet. Bei dieser vorteilhaften Ausgestaltung sind k unterschiedlich definierte Referenz-Störinformationen vorgesehen, wobei jeweils für jede Referenz-Störinformation zuerst
10 die Empfangssymbole der um jeweils zumindest einen Teil der Subträger im Frequenzbereich benachbart angeordneten Subträger jeweils mit der jeweiligen Referenz-Störinformation gestört werden und anschließend die gestörten Empfangssymbole
15 der benachbarten Subträger als gezielte Teststörungen dem Empfangssymbol des zusätzlich gestörten Subträgers additiv überlagert werden (a). Die zusätzlich gezielt gestörten Empfangssymbole werden jeweils mit dem nächstliegenden modulationsspezifischen Modulationssymbol verglichen und in Abhängig-
20 keit von den Vergleichsergebnissen subträgerspezifische Fehlerinformationen gebildet (b) und aus den subträgerspezifischen Fehlerinformationen eine störinformationsspezifische Summen-Fehlerinformation gebildet (c). Anschließend werden
25 aus dem k -Referenz-Störinformationen und den k -Summen-Fehlerinformationen die Korrekturinformation abgeleitet (d) - Anspruch 3. Durch diese vorteilhafte Ausgestaltung kann die Korrekturinformation zur Schätzung der ICI-Störungen sehr genau bestimmt werden, da die Korrekturinformation durch eine Mittelung über alle Subträger des empfangenen Multiträgersignals
30 abgeleitet wird.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Korrekturinformation (ici_{opt}) im Rahmen einer iterativen Suche ermittelt wird, wobei die k Referenz-Störinformationen ($icil_{1..4}$) im Rahmen der iterativen Suche bestimmt werden und die Schritte (a) bis (c) wiederholt werden,
35 bis ein minimaler Wert der störinformationsspezifischen Sum-

men-Fehlerinformationen (ϵ_{min}) ermittelt und daraus die Korrekturinformation (ici_{opt}) abgeleitet wird - Anspruch 7. Das Ermitteln der Korrekturinformation (ici_{opt}) im mit Hilfe der iterativen Suche stellt ein sehr stabiles Verfahren dar.

5

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die zusätzlich gezielt gestörten Empfangssymbole vor dem Vergleich mit dem jeweils nächstliegenden modulationsspezifischen Modulationssymbol jeweils in Abhängigkeit von frequenzselektiven Übertragungseigenschaften des Übertragungsmediums entzerrt - Anspruch 8. Durch die Entzerrung des empfangenen Multiträgersignals von den frequenzselektiven Übertragungseigenschaften des Übertragungsmediums werden eventuell auftretende Fehler beim Vergleich der gezielt gestörten Empfangssymbole mit dem jeweils nächstliegenden modulationsspezifischen Modulationssymbolen minimiert und somit die Qualität der ermittelten Korrekturinformationen verbessert.

10

15

20

25

30

Vorteilhaft werden nach der Durchführung der Schritte (a) bis (d) jeweils für jede Referenz-Störinformation die Empfangssymbole der um jeweils zumindest einen Teil der Subträger im Frequenzbereich entfernter angeordneten Subträger jeweils mit der jeweiligen Referenz-Störinformation gestört und anschließend die gestörten Empfangssymbole als gezielte Teststörungen dem Empfangssymbol des zusätzlich gestörten Subträgers additiv überlagert (a'). Anschließend werden die Schritte (b) bis (d) durchgeführt - Anspruch 9. Durch die zusätzliche Berücksichtigung derjenigen subträgerspezifischen Störungen, welche jeweils durch im Frequenzbereich weiter entfernt benachbarte Subträger verursacht werden, wird die Qualität der ermittelten Korrekturinformationen weiter verbessert.

35

Um eine weitere Verbesserung der Bestimmung der Korrekturinformation zu erreichen, wird gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens die mit den Korrekturinformationen korrigierten Empfangssymbole demo-

duliert. Mit Hilfe von in die übermittelten Informationen eingefügten Fehlererkennungs-Informationen werden in den demodulierten Empfangssymbolen Fehler erkannt und erkannte, fehlerhafte Empfangssymbole korrigiert. Bei erkannten Fehlern werden die Schritte (b) bis (d) erneut durchgeführt, wobei für die Ermittlung der Korrekturinformationen die fehlerkorrigierten Empfangssymbole verwendet werden - Anspruch 10.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie eine Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens und eine Empfangsanordnung zum Empfangen eines mehrere frequenzdiskrete Subträger aufweisenden Multiträgersignals sind den weiteren Ansprüchen zu entnehmen.

Im folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand von vier Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigen:

- FIG 1 ein dem erfindungsgemäßen Verfahren zugrundeliegendes Störmodell, durch welches die gegenseitigen subträgerspezifischen Störungen zwischen im Frequenzbereich benachbart angeordneten Subträgern eines Multiträgersignals verdeutlicht werden,
- FIG 2 eine das erfindungsgemäße Verfahren realisierende Schaltungsanordnung,
- FIG 3 eine vorteilhafte Ausgestaltung einer Schaltungsanordnung zur additiven Überlagerung von Referenz-Störinformationen bzw. von daraus abgeleiteten Teststörungen zu den jeweiligen Subträgern eines empfangenen Multiträgersignals,
- FIG 4 eine grafische Darstellung einer Fehlerkurve bzw. Korrekturfunktion, aus welcher die Korrekturinformationen zur Minimierung der subträgerspezifischen Störungen eines empfangenen Multiträgersignals abgeleitet werden.

In FIG 1 ist ein im Frequenzbereich angeordnetes Störmodell zur Verdeutlichung des dem erfindungsgemäßen Verfahren zu-

grundeliegenden Problems dargestellt. Das Störmodell zeigt ausschnittsweise mehrere Subträger st_{i-1} , st_i , st_{i+1} eines insgesamt n Subträger $st_{1...n}$ aufweisenden, im Rahmen eines Multiträgerverfahrens gebildeten Multiträgersignals ms . Im folgenden sei angenommen, daß das Multiträgersignal durch ein OFDM-Übertragungsverfahren erzeugt ist. Ausgehend von jedem Subträger st_i werden subträgerspezifische Störungen $icix$ bei den im Frequenzbereich benachbart angeordneten Subträgern st_{i-1} und st_{i+1} verursacht, welche im Störmodell durch kleine Pfeile verdeutlicht sind. Umgekehrt wird der zentral angeordnete i -te Subträger st_i von den durch die beiden benachbarten Subträger st_{i-1} und st_{i+1} verursachten subträgerspezifischen Störungen - in FIG 1 durch $icix_{-1}$ und $icix_{+1}$ gekennzeichnet - beeinflußt, wobei jeweils eine additive Überlagerung des jeweiligen i -ten Subträgers st_i mit den erzeugten subträgerspezifischen Störungen $icix_{-1}$, $icix_{+1}$ erfolgt. Gemäß FIG 1 stellt das empfangene Multiträgersignal ms eine komplizierte Überlagerung sehr vieler Teilsignale dar, so daß eine direkte Bestimmung der von den einzelnen Subträgern $st_{1...n}$ ausgehenden, subträgerspezifischen Störungen $icix$ nicht mehr möglich ist.

FIG 2 zeigt in einem Blockschaltbild eine in einer Empfangseinheit E angeordnete Schaltungsanordnung, durch welche die im empfangenen OFDM-Signal ms enthaltenen subträgerspezifischen Störungen $icix$ - im folgenden auch als ICI-Störungen bezeichnet - geschätzt und anschließend das empfangene OFDM-Signal ms in Abhängigkeit von dem Schätzungsergebnis entzerrt wird. Das Blockschaltbild zeigt eine Empfangsantenne A aufweisende Empfangseinheit E , welche beispielsweise modularer Bestandteil von Empfangsanlagen in drahtlose Kommunikationsnetze realisierenden Basisstationen oder Netzabschlußeinheiten sein kann. An der außen an der Empfangseinheit E angebrachten Empfangsantenne A ist über einen Eingang EH eine Hochfrequenz-Umsetzereinheit HFU angeschlossen. In der Hochfrequenz-Umsetzereinheit HFU ist ein lokaler Oszillator LO angeordnet, welcher ein oszillatorspezifisches Phasenrauschen ϕ_{LO} aufweist. Über einen Ausgang AH ist die Hochfrequenz-Um-

setzereinheit HFU mit einem Eingang EW einer Wandlereinheit WAS verbunden. In der Wandlereinheit WAS sind Mittel zur Analog-/Digital-Wandlung und zur anschließenden Seriell-/Parallel-Wandlung (A/D, S/P) eines eingehenden Empfangssignals ms' angeordnet. Die Wandlereinheit WAS weist n -Ausgänge $AW1...n$ auf, welche mit entsprechenden Eingängen $EF1...n$ einer Transformationseinheit FFT zur Realisierung einer diskreten "Fast-Fourier-Transformation" verbunden sind. Die Transformationseinheit FFT ist über n -Ausgänge $AF1...n$ mit entsprechenden Eingängen $EP1...n$ eines Parallel-/Seriell-Wandlers PSW verbunden.

Über einen Ausgang AP ist der Parallel-/Seriell-Wandler PSW jeweils über einen Eingang ER mit vier parallel angeordneten Referenzmodulen $RM1...4$ verbunden, durch welche vier definierte Störsignale bzw. diese repräsentierende Referenz-Störinformationen $icil...4$ dem empfangenen OFDM-Signal ms hinzugefügt werden. Dazu weist jede der vier Referenzmodule $RM1...4$ eine Störeinheit STE auf, welcher jeweils eine der Referenz-Störinformationen $icil...4$ zugeordnet ist, und durch welche den einzelnen Subträgern $stl...n$ des empfangenen OFDM-Signals ms die jeweils zugeordnete Referenz-Störinformationen $icil...4$ additiv überlagert wird. In jedem Referenzmodul $RM1...4$ ist weiterhin eine Entzerrereinheit EZ zur linearen Entzerrung des empfangenen OFDM-Signals von den Funkkanaleigenschaften $H(f)$ sowie eine Fehler-Detektoreinheit FE zur Bestimmung von störinformationsspezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon l...4$ angeordnet. Jede Fehler-Detektoreinheit FE ist über einen Ausgang AF an einen Ausgang AR des jeweiligen Referenzmoduls $RM1...4$ angeschlossene. Jedes der vier Referenzmodule $RM1...4$ ist über den Ausgang AR mit einem Eingang $EA1...4$ einer Auswertereinheit ASW verbunden.

Der Ausgang AP des Parallel-/Seriell-Wandlers PSW ist zusätzlich an einen Eingang EV einer Verzögerungseinheit VE geschaltet, durch welche das empfangene OFDM-Signal ms um eine vorgegebene Zeitkonstante Δt verzögert wird. Über einen Aus-

gang AV ist die Verzögerungseinheit VE mit dem Eingang EK einer Korrekturereinheit KE verbunden. Die Korrekturereinheit KE weist einen Steuereingang SE auf, welcher mit einem Steuerausgang SA der Auswertereinheit ASW verbunden ist. Über einen
5 Ausgang AK ist die Korrekturereinheit KE mit einem Eingang EE einer weiteren Entzerrereinheit EZ verbunden, welche über einen Ausgang AE an einen Eingang AD eines Demodulators DMOD angeschlossen ist. Der Demodulator DMOD weist einen Ausgang
10 AD auf, an welchen das demodulierte Empfangssignal als digitales Datensignal di weitergeleitet ist.

Im folgenden wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand der in FIG 2 dargestellten Schaltungsanordnung näher erläutert.

15 In einem nicht dargestellten Sender werden mit Hilfe eines Multiträgerverfahrens, beispielsweise einem OFDM-Übertragungsverfahren die zu übermittelnde Informationen mit Hilfe eines phasenmodulierenden Modulationsverfahrens - z.B. 4QAM oder 16QAM - in entsprechende Modulationssymbole und diese
20 anschließend in ein mehrere frequenzdiskrete Subträger stl...n aufweisendes OFDM-Signal ms umgewandelt und über das Übertragungsmedium "Funkkanal" FK an die Empfangseinheit E übermittelt. Der Funkkanal FK weist frequenzselektive Übertragungseigenschaften $H(f)$ auf, durch welche die Amplitude und die
25 Phase des OFDM-Signals ms verzerrt werden. Das ausgesendete OFDM-Signal ms wird über die außen an der Empfangseinheit E angeordnete Empfangsantenne A empfangen und der Hochfrequenz-Umsetzereinheit HFU zugeführt. Das empfangene OFDM-Signal ms wird durch den in der Hochfrequenz-Umsetzereinheit HFU angeordneten lokalen Oszillator LO in das Zwischenfrequenzband
30 heruntergemischt, wobei durch das Phasenrauschen ϕ_{LO} des lokalen Oszillators LO die subträgerspezifischen Störungen $icix$ in den einzelnen Subträgern stl...n des empfangenen OFDM-Signals ms erzeugt werden. Das in das Zwischenfrequenzband heruntergemischte OFDM-Signal ms' wird durch die Wandlereinheit
35 WAS analog-/digital-gewandelt und anschließend durch Seriell-/Parallel-Wandlung in entsprechende, das digitale OFDM-Signal

repräsentierende, n -zeitdiskrete Abtastwerte $zsl...n$ parallelisiert. Mit Hilfe der in der Transformationseinheit FFT realisierten diskreten "Fast-Fourier-Transformation" werden aus den n -zeitdiskreten Abtastwerten $zsl...n$ die entsprechenden n -

5 Empfangssymbole $esl...n$ berechnet, welche anschließend durch den Parallel-/Seriell-Wandler PSW in einen seriellen Datenstrom $esl...n$ umgewandelt werden. Es sei angemerkt, daß die in FIG 2 dargestellten Seriell-/Parallel- bzw. Parallel-/Seriell-Wandler nicht unbedingt erforderlich sind, da viele

10 aktuelle Mikroprozessoren zur Realisierung der „Fast-Fourier-Transformation“ die ein- und ausgehenden Informationen bereits seriell verarbeiten. Die jeweils an den Ausgang AW des Parallel-/Seriell-Wandlers PSW geführten Empfangssymbole $esl...n$, welche die aktuell empfangenen Subträger $stl...n$ des empfangenen OFDM-Signals ms repräsentieren, werden jeweils

15 den vier Referenzmodulen $RM1...4$ zugeführt.

Im folgenden wird die Funktion der Referenzmodule $RM1...4$ näher erläutert.

20

Durch die in den Referenzmodulen $RM1...4$ angeordneten Störeinheiten STE werden die übermittelten Empfangssymbole $esl...n$ jeweils mit subträgerspezifische Störungen $icix$ repräsentierenden Referenz-Störinformationen $icil...4$ überlagert. Dazu werden

25 mit Hilfe der Referenz Störinformationen $icil...4$ aus den jeweils um einen i -ten Subträger st_i benachbart angeordneten Subträgern st_{i-1} , st_{i+1} subträgerspezifische Störungen $icix_{-1}$, $icix_{+1}$ - auch als definierte Teststörungen bezeichnet - abgeleitet - beispielsweise durch Multiplikation mit der Referenz-Störinformation $icil...4$ - und anschließend die beiden abgeleiteten Teststörungen $icix_{-1}$, $icix_{+1}$ dem zentral angeordneten i -ten Subträger st_i additiv überlagert.

30

In FIG 3 ist beispielhaft eine schaltungstechnische Ausgestaltung der Störeinheit STE zur Bildung der Teststörungen $icix$ und zur additiven Überlagerung der Subträger $stl...n$ mit den gebildeten Teststörungen $icix$ dargestellt. Die Störein-

35

heit STE weist drei Zeitglieder $T1...3$ auf, durch welche die seriell eingehenden, die einzelnen Subträger $st1...n$ repräsentierenden Empfangssymbole $es1...n$ verzögert werden. Durch die Hintereinanderschaltung der drei Zeitglieder $T1...3$ stehen jeweils drei im Frequenzbereich benachbart angeordnete und durch die Empfangssymbole $es1...n$ repräsentierte Subträger st_{i-1} , st_i und st_{i+1} zeitgleich zur Verfügung. Das erste und das dritte Zeitglied $T1$, $T3$ ist jeweils über einen Ausgang AT mit einem Eingang EM eines Multiplikators M verbunden, durch welchen das jeweils aktuell im entsprechenden Zeitglied $T1$, $T3$ gespeicherte Empfangssymbol $es1...n$ mit der dem jeweiligen Referenzmodul $RM1...4$ zugeordneten Referenz-Störinformation $icil...4$ multipliziert wird. Über jeweils einem Ausgang AM sind die beiden Multiplikatoren M an Eingänge EA eines Addierers ADD angeschlossen, an welchen auch ein Ausgang AT des zweiten Zeitgliedes $T2$ geschaltet ist. Durch die in FIG 3 dargestellte Schaltungsanordnung werden die jeweils um einen i -ten Subträger st_i benachbart angeordneten Subträgern st_{i-1} , st_{i+1} bzw. die diese repräsentierenden Empfangssymbole $es1...n$ mit der jeweils zugeordneten Referenz-Störinformation $icil...4$ multipliziert und anschließend die beiden jeweils Teststörungen $icix_{-1}$, $icix_{+1}$ repräsentierenden Multiplikationsprodukte zum i -ten Subträger st_i bzw. zu dem diesen repräsentierenden Empfangssymbol $es1...n$ addiert. In Abhängigkeit vom jeweiligen Vorzeichen der einzelnen Referenz-Störinformationen $icil...4$ werden die gebildeten Teststörungen $icix_{-1}$, $icix_{+1}$ zu dem jeweiligen i -ten Subträger st_i addiert oder subtrahiert, wobei durch die Subtraktion einer Teststörung $icix$ der in FIG 1 dargestellte Störprozeß, basierend auf dem Phasenrauschen ϕ_{LO} des in der Hochfrequenz-Umsetzereinheit HFU angeordneten, lokalen Oszillators LO , umgekehrt wird.

Um eine genaue Bestimmung bzw. Schätzung der durch das Phasenrauschen des Oszillators LO verursachten ICI-Störungen $ici0$ zu erreichen, werden die mit den unterschiedlichen Referenz-Störinformationen $icil...4$ beaufschlagten Empfangssymbole $es'1...n$ zusätzlich durch die Entzerrereinheit EZ linear ent-

zerzt. Um eine lineare Entzerrung der Übertragungseigenschaften des Übertragungsmediums zu ermöglichen, wird die Übertragungsfunktion $H(f)$ des Funkkanals FK beispielsweise mit Hilfe von Pilotsymbolen bestimmt. Anschließend werden die Empfangssymbole $es'_{1...n}$ mit der inversen Übertragungsfunktion $1/H(f)$ multipliziert. Die entzerrten Empfangssymbole $es'_{1...n}$ werden anschließend der Fehler-Detektoreinheit FE zugeführt.

In der Fehler-Detektionseinheit FE werden die zugeführten Empfangssymbole $es'_{1...n}$ jeweils mit dem nächstbesten oder wahrscheinlichsten Modulationssymbol - die Menge der Modulationssymbole ist jeweils abhängig vom verwendeten Modulationsverfahren - verglichen und für jedes Empfangssymbol $es'_{1...n}$ eine die Differenz bzw. den Abstand des Empfangssymbols $es'_{1...n}$ zum nächstbesten Modulationssymbol repräsentierende subträgerspezifische Fehlerinformation $\Delta\epsilon_{1...n}$ gebildet. Anschließend werden die für jede Referenz-Störinformation $icil_{1...4}$ über alle Subträger $stl_{1...n}$ ermittelten, subträgerspezifischen Fehlerinformationen $\Delta\epsilon_{1...n}$ zu einer störinformations-spezifischen Summen-Fehlerinformation $s\epsilon_{1...4}$ aufaddiert, wobei $s\epsilon_{1...4} = \sum |\Delta\epsilon_{1...n}|$. Die vier in den vier Referenzmodulen $RM_{1...4}$ bestimmten störinformations-spezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon_{1...4}$ werden jeweils an die Auswerteeinheit ASW weitergeleitet.

In der Auswerteeinheit ASW wird aus den vier vorgegebenen Referenz-Störinformationen $icil_{1...4}$ und aus den vier in den vier Referenz-Modulen $RM_{1...4}$ bestimmten störinformations-spezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon_{1...4}$ eine Korrekturinformation ici_{opt} gemäß der in FIG 4 dargestellten Fehlerkurve abgeleitet. Die Fehlerkurve stellt gleichzeitig eine Korrekturfunktion dar und ist in einem zweidimensionalen Koordinatensystem dargestellt, wobei auf der Abszisse die Referenz-Störungen $icil_{1...4}$ bzw. die aus diesen abgeleiteten Teststörungen $icix$ und auf der Ordinate die jeweils bestimmten, störinformationsspezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon_{1...4}$ abgebildet sind - wobei $s\epsilon_{1...4} = \sum |\Delta\epsilon_{1...n}(icil_{1...4})|$. Für das Ausführungs-

beispiel sei angenommen, daß die Summen der jeweiligen subträgerspezifischen Fehlerinformationen $\Delta\epsilon_{1...n}$, d.h. die störinformationspezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon_{1...4} = \sum |\Delta\epsilon_{1...n}|$ mit zunehmender ICI-Störung, also mit steigenden Beträgen der Referenz-Störinformationen $ic_{1...4}$ linear ansteigen, da das in FIG 1 dargestellte Störmodell auf additiven Störtermen beruht. Idealerweise weist bei einem Empfang eines Multiträgersignals m_s ohne ICI-Störungen die Summe der subträgerspezifischen Fehlerinformationen $\Delta\epsilon_{1...n}$ einen minimalen Wert $s\epsilon_{min}$ auf, wobei in einem idealen Kommunikationssystem ohne additiv überlagertes Gaußsches Rauschen - AWGN - und ohne Schätzfehler $\Delta H(f)$ für den Funkkanal FK der minimale Wert $s\epsilon_{min}$ gegen Null geht. In realen Systemen weist der minimale Wert $s\epsilon_{min}$ einen Wert ungleich Null auf. Bedingt durch das Phasenrauschen des in der Hochfrequenz-Umsetzereinheit HFU angeordneten, lokalen Oszillators LO weisen die am Ausgang des Parallel-/Seriell-Wandlers PSW anliegenden Empfangssymbole $\epsilon_{1...n}$ bestimmte, nicht genau erfaßbare ICI-Störungen auf, welche in FIG 4 durch den Wert ic_{i0} dargestellt sind.

Ausgehend von diesen nicht meßbaren ICI-Störungen ic_{i0} ergeben sich subträgerspezifische Fehlerinformationen $\Delta\epsilon_{1...n}$, deren Summe $\sum |\Delta\epsilon_{1...n}|$ den Wert $s\epsilon_0$ ergeben, welcher ebenfalls in FIG 4 dargestellt ist, wobei $s\epsilon_0 \geq s\epsilon_{min}$.

In FIG 4 ist der Schnittpunkt der in den empfangenen Empfangssymbolen $\epsilon_{1...n}$ enthaltenen und nicht näher bestimmbar ICI-Störung ic_{i0} und die sich daraus ergebende Summe der subträgerspezifischen Fehlerinformationen $s\epsilon_0 = \sum |\Delta\epsilon_{1...n}(ic_{i0})|$ durch einen Punkt AP verdeutlicht. Ausgehend von diesem Punkt bzw. Ausgangspunkt AP werden erfindungsgemäß in beschriebener Art und Weise - in den jeweiligen Referenz-Modulen $RM_{1...4}$ - die empfangenen Empfangssymbole $\epsilon_{1...n}$ jeweils mit den vier unterschiedlichen Referenz-Störinformationen $ic_{1...4}$ bzw. Teststörungen ic_{ix} beaufschlagt und anschließend die störinformationspezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon_{1...4}$ ermittelt. Gemäß FIG 4 stellen die erste und die dritte Referenz-Störinformation $ic_{1,3}$ jeweils eine sehr kleine ICI-Störung

mit jeweils umgekehrten Vorzeichen dar, während die zweite und die vierte Referenz-Störinformation $ici_{2,4}$ jeweils eine relativ große ICI-Störung repräsentieren. Es sei ein linearer Zusammenhang zwischen den Referenz-Störinformationen $ici_{1...4}$ bzw. den daraus abgeleiteten Störsignalen $icix$ und den daraus resultierenden störinformationspezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon_{1...4}$ angenommen. Der lineare Zusammenhang ist in der in FIG 4 dargestellten Fehlerkurve bzw. Korrekturfunktion durch eine Steigung S aufweisende lineare Kennlinie $\sum |\Delta \epsilon_{1...n}|$ verdeutlicht. Durch Berechnung der Steigung S der Korrekturfunktion kann aus den bekannten Ausgangsgrößen - hier aus den Referenz-Störinformationen $ici_{1...4}$ - und den mit Hilfe der Referenz-Module $RM_{1...4}$ bestimmten störinformationspezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon_{1...4}$ diejenige Korrekturinformation ici_{opt} bestimmt werden, durch welche die Summe der subträgerspezifische Fehlerinformationen $\sum |\Delta \epsilon_{1...n}(ici_{opt})|$ den minimalen Wert $s\epsilon_{min}$ aufweist; d.h. mit Hilfe der bestimmten Korrekturinformation ici_{opt} kann diejenige Störung $icix$ erzeugt werden, durch welche die im empfangenen OFDM-Signal vorhandenen ICI-Störungen minimiert werden.

Die Korrekturinformation kann gemäß nachfolgender Berechnungsvorschrift aus den bekannten Größen abgeleitet werden:

$$s\epsilon_0 = \frac{(s\epsilon_1 + s\epsilon_3)}{2} \quad (1)$$

$$\Delta s\epsilon = \frac{(s\epsilon_1 - s\epsilon_3)}{2} \quad (2)$$

$$S = \frac{\Delta s\epsilon}{ici_3} = \frac{s\epsilon_1 - s\epsilon_3}{ici_1 - ici_3} \quad (3)$$

$$s\epsilon_{min} = s\epsilon_0 + S \cdot ici_{opt} \quad (4)$$

$$s\epsilon_4 = s\epsilon_{min} - S \cdot (ici_4 - ici_{opt}) \quad (5)$$

Aus den Gleichungen (1) bis (5) folgt

$$ici_{opt} = \left(\frac{s\epsilon_4 - s\epsilon_0}{2(s\epsilon_1 - s\epsilon_3)} \right) \cdot (ici_1 - ici_3) + \frac{ici_4}{2} \quad (6)$$

$$ici_{opt} = \left(\frac{s\epsilon 4 - \frac{(s\epsilon 1 + s\epsilon 3)}{2}}{2(s\epsilon 1 - s\epsilon 3)} \right) \cdot (ici1 - ici3) + \frac{ici4}{2} \quad (7)$$

wobei $ici1, ici2 \geq 0$

$ici3, ici4 \leq 0$

Befindet sich der Ausgangspunkt AP ($ici0, s\epsilon 0$) im linken Abschnitt der Fehlerkurve bzw. Korrekturfunktion $\sum |\Delta \epsilon 1...n|$ bzw. im zweiten Quadranten des Koordinatensystems muß die oben aufgeführte Berechnungsvorschrift entsprechend angepaßt werden. Der Aufwand für die Berechnung der Korrekturinformation ici_{opt} ist vernachlässigbar, da diese nur einmal nach Empfang eines OFDM-Signals - nach Bestimmung der Empfangssymbole $es1...n$ - berechnet wird.

Die berechnete Korrekturinformation ici_{opt} wird an die Korrektureinheit KE weitergeleitet. Das empfangene OFDM-Signal ms bzw. die am Ausgang des Parallel-/Seriell-Wandlers PSW anliegenden Empfangssymbole $es1...n$ werden in der Verzögerungseinheit VE um die Zeitkonstante $\Delta \tau$ verzögert, wobei die Zeitkonstante $\Delta \tau$ so dimensioniert ist, daß die Empfangssymbole $es1...n$ erst nach der Berechnung der Korrekturinformation ici_{opt} und deren Weiterleitung an die Korrektureinheit KE an diese übermittelt werden. In der Korrektureinheit KE werden die verzögerten Empfangssymbole $ves1...n$ in bereits beschriebener Art und Weise mit der optimierten Störung $icix$, additiv überlagert bzw. korrigiert. Die korrigierten Empfangssymbole $ves'1...n$ werden anschließend in der Entzerrereinheit EZ mit der inversen der Übertragungsfunktion $1/H(f)$ des Funkkanals FK multipliziert und an den Demodulator DMOD weitergeleitet. Im Demodulator DMOD werden die entzerrten Empfangssymbole $ves''1...n$ demoduliert und in einen digitalen Datenstrom di umgewandelt.

Bei sehr großen ICI-Störungen im empfangenen OFDM-Signal können gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch die zwischen weiter entfernten Subträgern - z.B. zwischen den Subträgern st_{i-2} , st_i und st_{i+2} - verursachten ICI-Störungen entzerrt werden. Zu diesem Zweck könnte ein interaktives Verfahren realisiert werden, bei dem in einem ersten Schritt die im Frequenzbereich unmittelbar benachbart angeordneten Subträger - hier die Subträger st_{i-1} , st_i und st_{i+1} - in beschriebener Art und Weise entzerrt werden. In einem zweiten Schritt werden nach dem gleichen Verfahren die durch die im Frequenzbereich weiter entfernt angeordneten Subträger - hier die Subträger st_{i-2} , st_i und st_{i+2} - verursachten ICI-Störungen entzerrt. Je nach Notwendigkeit kann das Iteration Verfahren auch auf im Frequenzbereich weiter entfernt angeordnete Subträger st_{i-b} , st_i , st_{i+b} , wobei $b > 1$, ausgedehnt werden.

Weiterhin können bei sehr großen ICI-Störung die empfangenen Empfangssymbole $es_{1...n}$ sehr große Symbolfehler aufweisen. Beim Vergleich dieser fehlerhaften Empfangssymbole $es_{1...n}$ mit dem jeweils nächstbesten, den Sollwert repräsentierenden Modulationssymbol - auch als Schätzwert bezeichnet - können die Empfangssymbole $es_{1...n}$ mit den falschen Modulationssymbol verglichen werden, was zu erheblichen Fehlern bei der Berechnung der Summe der subträgerspezifische Fehlerinformationen $\sum |\Delta e_{1...n}|$ führt. Aus den fehlerhaft ermittelten störinformati-
onspezifischen Summen-Fehlerinformationen $s_{e1...4} = \sum |\Delta e_{1...n}|$ würde eine falsche Korrekturinformation ici_{opt} abgeleitet werden, durch welche im schlimmsten Fall eine Erhöhung der Bitfehler im demodulierten Datenstrom di verursacht wird.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Verfahrens - nicht dargestellt - ist eine Fehlerbehandlungsroutine - auch als Forward Error Correction, FEC bezeichnet - vorgesehen, durch welche der demodulierte Datenstrom di auf eventuell auftretende Bitfehler untersucht

wird. Gemäß dieser vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird bei erkannten Bitfehlern ein zusätzlicher interaktiver Verfahrensschritt durchgeführt, in welchem die fehlerhaft erkannten Empfangssymbole korrigiert und mit Hilfe der korrigierten Empfangssymbole die Summe der subträgerspezifische Fehlerinformationen $\sum |\Delta \epsilon_{1...n}|$ erneut gebildet wird. Diese Ausgestaltungsvariante ist insbesondere für höherstufige Modulationsverfahren einsetzbar.

- 10 Gemäß einer weiteren Ausgestaltungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird nur ein Teil der aus dem empfangenen Multiträgersignal m_s abgeleiteten Empfangssymbole $\epsilon_{1...n}$ für die Bestimmung der Korrekturinformation ici_{opt} verwendet, wodurch der Aufwand für die Berechnung der Korrekturinformation ici_{opt} und damit die Verzögerung des empfangenen Multiträgersignals m_s , d.h. die Verzögerungskonstante $\Delta \tau$ minimiert wird.

- Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung wird das erfindungsgemäße Verfahren zusammen mit einer Fehlerbehandlungsroutine eingesetzt. Dabei erfolgt zuerst keine Entzerrung der ICI-Störungen im empfangenen Multiträgersignal. In einem ersten Schritt wird zuerst eine Demodulierung des empfangenen Multiträgersignal durchgeführt und anschließend der demodulierte Datenstrom d_i mit Hilfe der Fehlerbehandlungsroutine auf Bitfehler untersucht. Erst wenn erkannte Bitfehler nicht mehr korrigierbar sind, wird das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt, wobei erkannte Bitfehler, d.h. fehlerhafte Empfangssymbole $\epsilon_{1...n}$ bei der Bildung der störinformationsspezifischen Summen-Fehlerinformationen $s\epsilon_{1...4} = \sum |\Delta \epsilon_{1...n}|$ nicht berücksichtigt werden. Dies kann beispielsweise durch Ausblenden der fehlerhaften Subträger $st_{1...n}$ bzw. Empfangssymbole $\epsilon_{1...n}$ oder durch entsprechende Korrektur der fehlerhaften Empfangssymbols $\epsilon_{1...n}$ realisiert werden. Diese vorteilhafte Weiterbildung kann solange iterativ wiederholt werden, bis alle ICI-Störungen entzerrt sind.

Gemäß einer alternativen Ausgestaltungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ausgehend von der in FIG 4 dargestellten Fehlerkurve die kleinste Summe ϵ_{\min} der subträger-spezifische Fehlerinformationen $\sum |\Delta s_{1...n}|$ durch eine iterative

5 Suche - mit definierter Schrittweite - mit Hilfe von zwei kleinen Referenz-Störinformationen $i_{c1,3}$ bzw. Teststörungen ermittelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Empfang eines mehrere frequenzdiskrete Subträger (st1...n) aufweisenden Multiträgersignals (ms), in
5 welches mit Hilfe eines Multiträgerverfahrens in frequenzdiskrete, modulationsspezifische Modulationssymbole umgewandelte Informationen eingefügt sind,
wobei die einzelnen frequenzdiskreten Subträger (st1...n) des über ein Übertragungsmedium (FK) übermittelten Multiträgersignals (ms) jeweils durch im Frequenzbereich benachbart angeordnete Subträger (st1...n) verursachte, subträgerspezifische Störungen (ici0) aufweisen,
10 dadurch gekennzeichnet,
- daß die Subträger (st1...n) des empfangenen Multiträgersignals (ms) zusätzlich gezielt gestört werden,
15 - daß aus den zusätzlich gezielt gestörten Subträgern (st1...n) eine die subträgerspezifischen Störungen (ici0) repräsentierende Korrekturinformation (ici_{opt}) abgeleitet wird, und
- daß die Subträger (st1...n) des empfangenen Multiträgersignals (ms) entsprechend der ermittelten Korrekturinformation (ici_{opt}) korrigiert werden.
20
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
25 daß mehrere unterschiedliche Teststörungen (icix) vorgesehen sind, wobei bei einer Teststörung (icix) die Subträger (st1...n) durch eine konstante oder frequenzabhängige Störinformation (icil...4) gezielt gestört werden.
- 30 3. Verfahren nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
- daß aus dem empfangenen Multiträgersignal (ms) die frequenzdiskreten Subträger (st1...n) repräsentierende Empfangssymbole (es1...n) abgeleitet werden,
35 - daß k unterschiedlich definierte Referenz-Störinformationen (icil...4) vorgesehen sind, wobei jeweils für jede Referenz-Störinformation (icil...4)

- (a) die Empfangssymbole ($es_{1...n}$) der um jeweils zumindest einen Teil der Subträger (st_i) im Frequenzbereich benachbart angeordneten Subträger (st_{i-1} , st_{i+1}) jeweils mit der Referenz-Störinformation ($ic_{i1...4}$) gestört werden und anschließend die gestörten Empfangssymbole der benachbarten Subträger (st_{i-1} , st_{i+1}) als gezielte Teststörungen (ic_{ix-1} , ic_{ix+1}) dem Empfangssymbol ($es_{1...n}$) des zusätzlich gestörten Subträger (st_i) additiv überlagert werden,
- 5
- 10 -- (b) daß die zusätzlich gezielt gestörten Empfangssymbole ($es'_{1...n}$) jeweils mit dem nächstliegenden modulations-spezifischen Modulationssymbol verglichen werden und in Abhängigkeit von den Vergleichsergebnissen subträgerspezifische Fehlerinformationen ($\Delta e_{1...n}$) gebildet werden, und
- 15
- (c) aus den subträgerspezifischen Fehlerinformationen ($\Delta e_{1...n}$) eine störinformationspezifische Summen-Fehlerinformation ($s e_{1...k}$) gebildet wird,
- 20 - (d) daß aus den k Referenz-Störinformationen ($ic_{i1...k}$) und den k Summen-Fehlerinformationen ($s e_{1...k}$) die Korrekturinformation ($ic_{i_{opt}}$) abgeleitet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,

- 25 - daß die aus dem empfangenen Multiträgersignal (ms) abgeleiteten frequenzdiskreten Empfangssymbole ($es_{1...n}$) solange verzögert oder zwischengespeichert werden, bis die Korrekturinformation ($ic_{i_{opt}}$) bestimmt ist,
- 30 - (e) daß die verzögerten Empfangssymbole ($ves_{1...n}$) der um jeweils einen Subträger (st_i) im Frequenzbereich benachbart angeordneten Subträger (st_{i-1} , st_{i+1}) jeweils mit der ermittelten Korrekturinformation ($ic_{i_{opt}}$) korrigiert werden und anschließend dem verzögerten Empfangssymbol ($ves_{1...n}$) des Subträgers (st_i) additiv überlagert werden.
- 35

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,

dadurch gekennzeichnet,

daß durch die k Referenz-Störinformationen ($ici1...k$) und die k
 5 daraus abgeleiteten, störinformationspezifischen Summen-Fehlerinformationen ($s\epsilon1...k$) eine Korrekturfunktion (KF) bestimmt
 ist, mit deren Hilfe die Korrekturinformation (ici_{opt}) berechnet
 wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5,

10 dadurch gekennzeichnet,

- daß vier definierte Referenz-Störinformationen ($ici1...4$)
 vorgesehen sind, mit deren Hilfe die vier störinformations-
 spezifischen Summen-Fehlerinformationen ($s\epsilon1...4$) abgeleitet
 werden,

15 - daß die Korrekturinformation (ici_{opt}) durch

$$ici_{opt} = \left(\frac{s\epsilon4 - \frac{(s\epsilon1 + s\epsilon3)}{2}}{2(s\epsilon1 - s\epsilon3)} \right) \cdot (ici1 - ici3) + \frac{ici4}{2}$$

berechnet wird, wobei

20 $s\epsilon1...4$ die vier Summen-Fehlerinformationen ($s\epsilon1...4$), und
 $ici1...4$ die vier Referenz-Störinformationen ($ici1...4$)
 repräsentieren.

7. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,

25 dadurch gekennzeichnet,

daß die Korrekturinformation (ici_{opt}) im Rahmen einer iterati-
 ven Suche ermittelt wird, wobei die k Referenz-Störinforma-
 tionen ($ici1...4$) im Rahmen der iterativen Suche bestimmt
 werden und die Schritte (a) bis (c) wiederholt werden, bis
 30 ein minimaler Wert der störinformationspezifischen Summen-
 Fehlerinformationen (ϵ_{min}) ermittelt und daraus die Korrektur-
 information (ici_{opt}) abgeleitet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,

daß die zusätzlich gezielt gestörten Empfangssymbole ($es'1...n$) vor dem Vergleich mit dem jeweils nächstliegenden modulationspezifischen Modulationssymbol jeweils in Abhängigkeit von frequenzselektiven Übertragungseigenschaften ($H(f)$) des Übertragungsmediums (FK) entzerzt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8,

dadurch gekennzeichnet,

- daß nach Durchführung der Schritte (a) bis (d) jeweils für jede Referenz-Störinformation ($icil...4$)

-- (a') die Empfangssymbole ($es1...n$) der um jeweils zumindest einen Teil der Subträger (st_i) im Frequenzbereich entfernt angeordneten Subträger (st_{i-b} , st_{i+b} , wobei $b > 1$) jeweils mit der Referenz-Störinformation ($icil...4$) gestört werden und anschließend die gestörten Empfangssymbole als gezielte Teststörungen ($icix_{-1}$, $icix_{+1}$) dem Empfangssymbol ($es1...n$) des zusätzlich gestörten Subträgers (st_i) additiv überlagert werden, und

-- anschließend die Schritte (b) bis (d) durchgeführt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 9,

dadurch gekennzeichnet,

- daß die mit den Korrekturinformationen (ici_{opt}) korrigierten Empfangssymbole ($ves'1...n$) demoduliert werden,
- daß mit Hilfe von in die übermittelten Informationen eingefügten Fehlererkennungs-Informationen in den demodulierten Empfangssymbolen (di) Fehler erkannt und erkannte, fehlerhafte Empfangssymbole ($es'1...n$, $es''1...n$) korrigiert werden,
- daß bei erkannten Fehlern die Schritte (b) bis (d) erneut durchgeführt werden, wobei für die Ermittlung der Korrekturinformation (ici_{opt}) die korrigierten Empfangssymbole ($es'1...n$, $es''1...n$) verwendet werden.

11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß das Multiträgerverfahren durch ein OFDM-Übertragungsverfahren - Orthogonal Frequency Division Multiplexing - oder
5 durch ein auf diskreten Multitönen - DMT - basierendes Übertragungsverfahren realisiert ist.

12. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

10 daß das Übertragungsmedium als drahtloser Funkkanal oder leitungs- oder drahtgebundener Übertragungskanal ausgestaltet ist.

13. Verfahren nach Anspruch 12,

15 dadurch gekennzeichnet,
daß die Informationen über Energieversorgungsleitungen übermittelt werden.

14. Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach einem
20 der vorherigen Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

- daß das empfangene Multiträgersignal (ms) demoduliert wird,
- daß mit Hilfe einer Fehlerbehandlungsroutine im demodulierten Multiträgersignal (di) enthaltene Fehler erkannt und
25 korrigiert werden,
- daß in Abhängigkeit von der Anzahl und der Korrigierbarkeit der Fehler das Verfahren zum gezielten Stören des empfangenen Multiträgersignals (ms) durchgeführt wird.

30 15. Empfangsanordnung zum Empfang eines mehrere frequenzdiskrete Subträger (st1...n) aufweisenden Multiträgersignals (ms), in welches mit Hilfe eines Multiträgerverfahrens in frequenzdiskrete Modulationssymbole umgewandelte Informationen eingefügt sind,

35 wobei die einzelnen frequenzdiskreten Subträger (st1...n) des über ein Übertragungsmedium (FK) übermittelten Multiträgersignals (ms) jeweils durch im Frequenzbereich benachbart an-

geordnete Subträger (stl...n) verursachte, subträgerspezifische Störungen (ici0) aufweisen,

dadurch gekennzeichnet,

- daß Störmittel (RM1...4) zur zusätzlichen, gezielten Störung
5 des empfangenen Multiträgersignals (ms) vorgesehen sind,
- daß Mittel (ASW) zur Ableitung einer die subträgerspezifischen Störungen (ici0) repräsentierenden Korrekturinformation (ici_{opt}) aus den zusätzlich gezielt gestörten Subträgern (stl...n, es'1...n, es''1...n) angeordnet sind,
- 10 - daß Mittel (KE) zur Korrektur der frequenzdiskreten Subträger (stl...n, ves1...n) entsprechend der ermittelten Korrekturinformation (ici_{opt}) vorgesehen sind.

Zusammenfassung

Verfahren, Verwendung des Verfahrens und Empfangsanordnung
zum Empfang von mehrere frequenzdiskrete Subträger aufweisen-
5 den Multiträgersignalen.

Bei einem empfangenen Multiträgersignal (ms), welches durch
benachbarte Subträger (st1...n) verursachte, subträgerspezi-
fische Störungen (ici0) aufweist, werden die Subträger
10 (st1...n) zusätzlich gezielt gestört und aus den zusätzlich ge-
zielt gestörten Subträgern (st1...n) eine die subträgerspezi-
fischen Störungen (ici0) repräsentierende Korrekturinforma-
tion (ici_{opt}) abgeleitet, mit welcher die empfangenen Subträ-
ger (st1...n) anschließend korrigiert werden. Vorteilhaft
15 können kostengünstige Oszillatoren zur Realisierung von wirt-
schaftlich günstigen Sende- und Empfangseinheiten eingesetzt
werden.

FIG 2

20

FIG 1

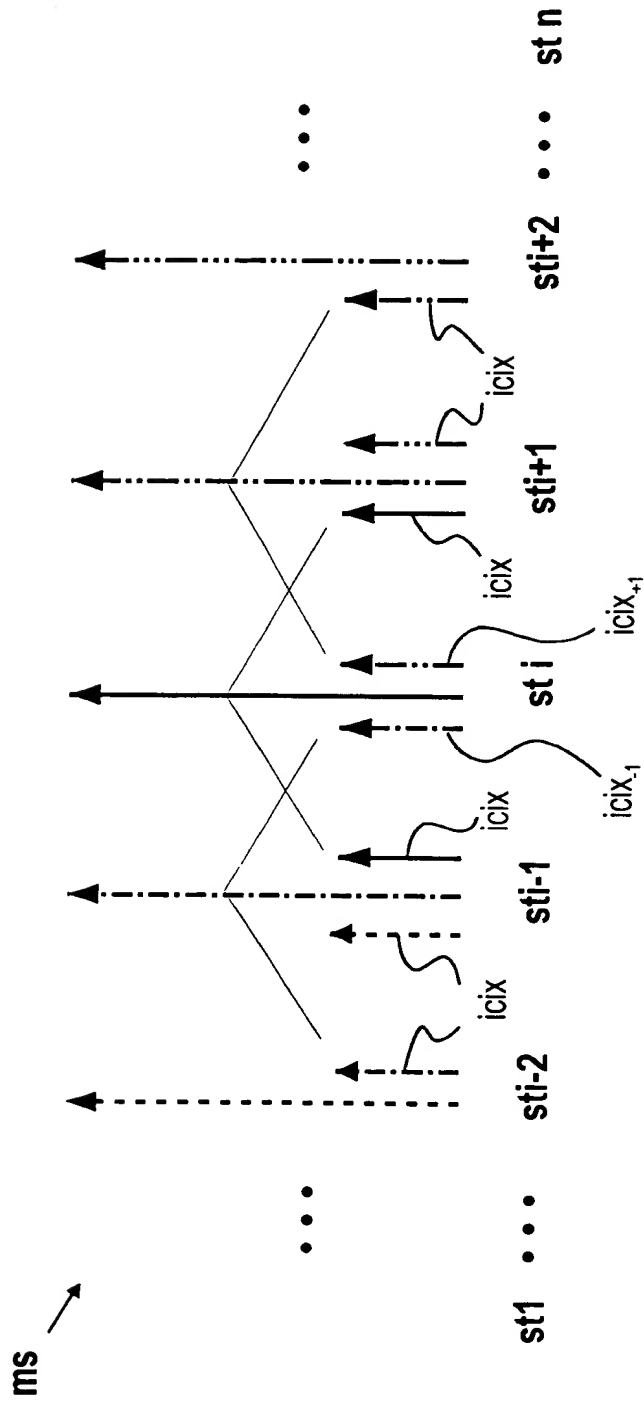


FIG 3

STE

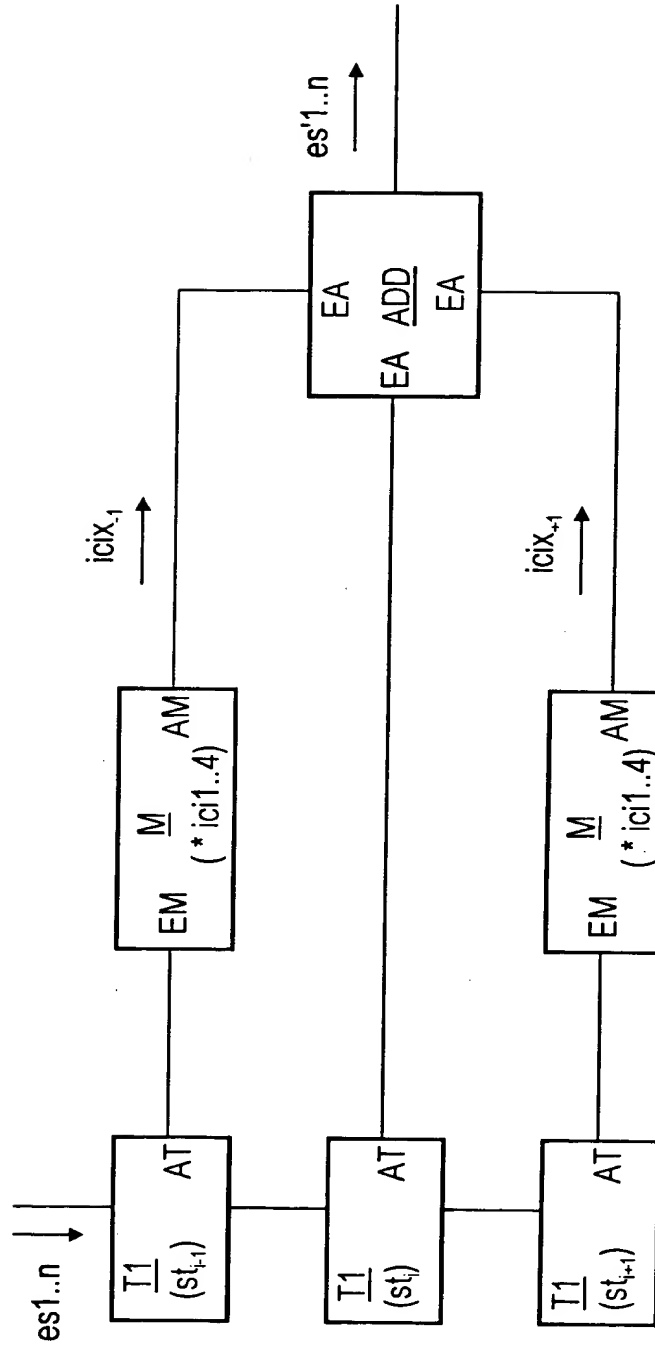
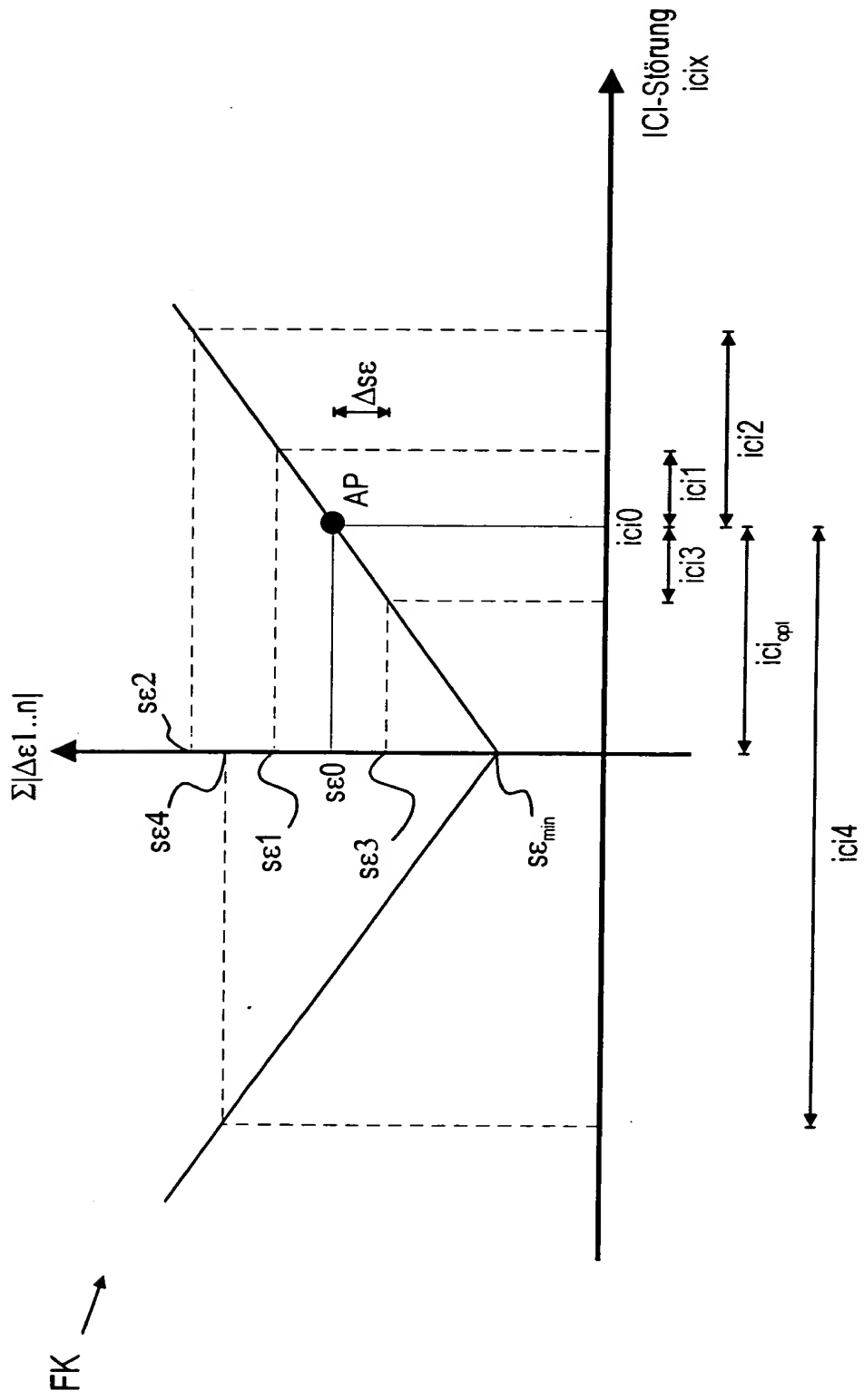


FIG 4



This Page Blank (uspto)